

Semikron Elektronik GmbH
Sigmundstr. 200
90431 Nürnberg

Postfach 820 251
90253 Nürnberg

Leistungshalbleitermodul mit verbesserter Isolationsfestigkeit

5 Beschreibung

Die Erfindung betrifft Leistungshalbleitermodule, wie sie beispielhaft aus der US 5.466,969 bekannt sind. Derartige Leistungshalbleitermodule mit Grundplatte oder zur direkten Montage auf einem Kühlkörper bieten gegenüber diskreten Leistungsschaltern (z.B. Scheibenzellen, TO220) den großen Vorteil der inneren Isolierung gegenüber der

10 Wärmesenke. Diese innere Isolierung zur Grundplatte oder zum Kühlkörper wird nach dem Stand der Technik durch den Einsatz von beidseitig metallkaschierten keramischen Substraten erreicht, die eine hohe Isolationsfestigkeit mit einer großen Wärmeleitfähigkeit verbinden. Sie erlauben den effizienten Aufbau von Leistungsschaltungen, da sie neben der Basisisolierung, der Isolation zur Umgebung, auch eine Funktionsisolierung, Isolierung

15 verschiedener Bereiche auf einer strukturierten und mit Bauelementen versehenen Fläche, bereitstellen.

Die Definitionen der verwendeten Fachbegriffe finden sich in „Kapitel 1 bei König, Rao, Teilentladungen in Betriebsmitteln der Energietechnik, VDE- Verlag 1993 ISBN 3-8007-1764-6“

20 Leistungshalbleitermodule, mit keramischen Substraten sind beispielhaft aus der US 5,466,969, aus der EP 0 750 345 A2 sowie der DE 197 00 963 A1 bekannt.

Druckkontaktierte Aufbauten mit keramischen Substraten sind beispielhaft aus der DE 196 51 632 A1 bekannt. Aus der US 5,466,969 ist weiterhin bekannt, dass zusätzliche Bauelemente wie Sensoren und / oder Ansteuerschaltungen in das Leistungsmodul

25 integriert sind.

All diesen Ausgestaltungen von Leistungshalbleitermodulen nach dem Stand der Technik ist gemeinsam die Verwendung eines beidseitig metallkaschierten keramischen Substrats, hergestellt z.B. durch eine Spinellbindung zwischen Aluminiumoxid (Al_2O_3) und Kupferoxid nach dem „Direct Copper Bonding“ (DCB)- Verfahren beispielsweise nach EP 0 627 760 A1 oder durch ein Aktivlötverfahren „Active Metal Brazing“ (AMB). Neben Kupfer sind
 5 grundsätzlich auch Aluminium oder Silber als metallische Schichten denkbar. In Verbindung mit Aluminiumnitrit (AlN) als Keramikmaterial sind auch Verfahren in der Entwicklung bei denen durch einen Sinterprozess eine Aluminium- Schicht auf das Keramikmaterial aufgebracht wird. Dabei kann auch nachträglich auf diese Aluminium- Schicht eine weitere
 10 Metallschicht z.B. aus Kupfer aufgebracht werden. Bekannt sind auch organische Epoxydsubstrate mit, mittels verschiedener Verfahren aufgebrachten, metallischen Schichten.

Weiterhin typisch für derartige Leistungshalbleitermodule ist eine Verfüllung z.B. mit einem Monomer des Silikonkautschuks, der nach Entgasen polymerisiert wird. Durch diesen
 15 Silikonkautschuk wird hauptsächlich die Funktionsisolierung hergestellt. Er wird allerdings auch im Randbereich des Substrates aufgebracht, weil dies herstellungstechnisch einfacher ist und die relative Dielektrizitätskonstante des Silikonkautschuks größer als diejenige von Luft ist und somit der Randbereich zur Erzielung der Basisisolierung schmaler ausgeführt sein kann.

20 An die Isolationsfestigkeit der Basisisolierung werden im allgemeinen deutlich höhere Anforderungen gestellt als an die Funktionsisolierung. So fordert die IEC 1287 für die Basisisolierung eine Prüfspannung von:

$$U_{iso,rms} = \frac{2 \cdot U_m}{\sqrt{2}} + 1000V$$

wobei U_m die maximale, ständig wiederkehrende Spannung in der Schaltung repräsentiert. Die Spannung $U_{iso,rms}$ ist bei der Prüfung des Bauelements für eine Minute anzulegen. Für
 25 die Isolationsfähigkeit der Basisisolierung ist die Ausgestaltung des Randbereiches des Substrates entscheidend.

Bei Leistungshalbleitermodulen nach dem Stand der Technik wirken die beiden metallischen Schichten auf den Keramikoberflächen wie ein Plattenkondensator mit der

Keramik als Dielektrikum zwischen diesen Platten. Typischerweise liegt die zweite metallische Schicht auf einer Grundplatte oder in einem Kühlkörper und damit zumeist auf Erdpotential. Die erste metallische Schicht, auf der auch die Leistungshalbleiterbauelemente angeordnet sind, liegt bei Leistungshalbleitermodulen
 5 zumindest partiell auf einem Potential von bis zu einigen Kilovolt. Die metallischen Schichten auf beiden Seiten des Substrates sind nicht bis an den Rand angeordnet, damit dieser nicht metallisierte Randbereich als Luft- bzw. Kriechweg der Basisisolierung des Leistungshalbleitermoduls dient.

Während der Herstellung des Leistungshalbleitermoduls beispielhaft bei der Vereinzelung
 10 der Substrate, speziell keramischer Substrate aus einem größeren Verbund, können vom Rand ausgehende Risse oder Ausbrüche im Randbereich entstehen. Diese Defekte des Substrates verkürzen die Strecke um den Keramikrand zwischen den beiden metallischen Schichten und damit wird auch die Isolationsfestigkeit des gesamten Leistungshalbleitermoduls in nicht definierter Weise verringert.

15 Das gleiche Problem der verringerten Isolationsfestigkeit entsteht auch durch Lufteinschlüsse in der Füllmasse, meist Silikonkautschuk, beispielhaft im Bereich zwischen dem Substrat und dem Gehäuse. Im Fall einer Klebeverbindung zwischen dem Substrat und dem Gehäuse entstehen ebenfalls durch übliche Lufteinschlüsse im Klebstoff Bereiche mit einer geringeren relativen Dielektrizitätskonstanten. Diese jeweilige partielle
 20 Verringerung der relativen Dielektrizitätskonstanten, meist in Form von Lufteinschlüssen, verringert die Teilentladungsfestigkeit durch die dort möglichen Glimmentladungen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde die Einflüsse von Defekten des Randbereiches des Substrates sowie der Ausgestaltung der Anordnung des Substrates im Gehäuse des Leistungshalbleitermoduls auf die Isolationsfestigkeit der Basisisolierung und auf die
 25 Teilentladungseigenschaften zu verhindern.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch die Merkmale des Anspruchs 1. Bevorzugte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Das erfinderische Leistungshalbleitermodul weist eine Grundplatte auf oder ist derart ausgebildet, dass es mit dem Substrat direkt auf einem Kühlkörper montiert wird. Das in
 30 beiden Ausgestaltungen vorhandene mindestens eine Substrat wird von einem Gehäuse umschlossen. Das Substrat selbst besteht aus einem isolierenden Werkstoff, wie

beispielsweise Keramik oder Kunststoff und ist beidseitig zumindest teilweise mit einer metallischen Schicht bedeckt. Vorzugsweise ist die metallische Schicht auf der ersten Hauptfläche in sich schaltungsgerecht strukturiert, um eine bestimmte Funktion des Leistungshalbleitermoduls, beispielhaft die einer Halbbrücke, realisieren zu können. Hierzu befindet sich auf dieser ersten metallischen Schicht mindestens ein Leistungshalbleiterbauelement. Auf der zweiten Hauptfläche des Substrates befindet sich ebenfalls eine metallische Schicht, die in der Regel vollflächig bis oder bis nahe an den Rand ausgebildet ist.

Das Substrat des erfinderischen Leistungshalbleitermoduls weist auf seiner ersten Hauptfläche am oder nahe benachbart zum Rand eine weitere leitfähige, vorzugsweise metallische, Schicht oder einen ebensolchen mit der Substratoberfläche bündig ausgestalteten Bereich auf. Im Weiteren werden Schicht und Bereich synonym verwendet. Diese Schicht weist einen spezifische Widerstand kleiner als $10 \text{ k}\Omega\cdot\text{m}$ auf. Sie ist umlaufen um den gesamten Rand des Substrates angeordnet und weist zur ersten metallischen Schicht der ersten Hauptfläche lateral in Richtung der Oberfläche einen Abstand auf, der derart bemessen ist, dass die Basisisolierung des Leistungshalbleitermoduls durch diesen Abstand gebildet wird. Hierbei ist eine Verfüllung mit einem isolierenden Material, wie Silikonkautschuk, des Zwischenraumes zwischen der ersten und der weiteren leitfähigen Schicht zu berücksichtigen. Diese weitere leitfähige Schicht der ersten Hauptfläche des Substrates ist mit der zweiten metallischen Schicht der zweiten Hauptfläche elektrisch leitend verbunden, wobei diese Verbindung vollflächig oder auch nur partiell vorhanden ist und somit diese weitere metallische Schicht auf dem Potential der Grundplatte bzw. des Kühlkörpers liegt.

Somit wird die Basisisolierung nicht wie nach dem Stand der Technik zwischen der ersten metallischen Schicht und der zweiten metallischen Schicht mit einer definierten Ausprägung des Randes erreicht. Die Basisisolierung des erfinderischen Leistungshalbleitermoduls wird zwischen der ersten metallischen Schicht und der weiteren leitfähigen Schicht erreicht.

Fig. 1 zeigt in einer dreidimensionalen Darstellung eine Ecke eines Substrates eines erfindungsgemäßen Leistungshalbleitermoduls.

Fig. 2. zeigt den Schnitt durch ein Leistungshalbleitermodul nach dem Stand der Technik.

Fig. 3. zeigt verschiedene Ausgestaltungen eines erfinderischen Leistungshalbleitermoduls.

Fig. 4. zeigt eine weitere Ausgestaltung eines erfinderischen Leistungshalbleitermoduls.

- Fig. 1 zeigt in einer dreidimensionalen Darstellung einen Eckbereich eines Substrates eines erfindungsgemäßen Leistungshalbleitermoduls. Das Substrat besteht aus einer keramischen Schicht (10), auf dessen erster Hauptfläche (10a) eine erste metallische Schicht (12) und auf dessen zweiter Hauptfläche (10b) eine zweite metallische Schicht (14) angeordnet sind. Die erste metallische Schicht (12) dient als Träger der Leistungsschaltung und damit der Leistungshalbleiterbauelemente (24) und ist in sich strukturiert. Die zweite metallische Schicht (14) ist entweder mit einer Grundplatte oder direkt mit einem Kühlkörper in thermisch und elektrisch leitendem Kontakt und weist keine innere Strukturierung auf.
- 10 Der Randbereich der Keramik (10) des erfinderischen Leistungshalbleitermoduls weist eine weitere leitfähige Schicht (16) auf der ersten Hauptfläche (10a) auf, welche leitend, mittels einer Durchkontaktierung (60), mit der zweiten metallischen Schicht (14) auf der zweiten Hauptfläche (10b) des Substrates (10) verbunden ist. Diese weitere leitfähige Schicht (16) weist von der in sich strukturierten ersten metallischen Schicht (12) einen Abstand (70) von
- 15 4 mm auf, der nach Verfüllung mit Silikonkautschuk (20) die Basisisolierung des Leistungshalbleitermoduls gewährleistet.

Einige typische Kenngrößen für die genannten Bestandteile des Leistungshalbleitermoduls sind:

Schicht	Material	Dicke	relative Dielektrizitätskonstante ϵ / ϵ_0
erste metallische Schicht (12)	Kupfer	0,3 mm	----
Substrat (10)	Aluminiumnitrit	1,0 mm	9,0
zweite metallische Schicht (14)	Kupfer	0,3 mm	----
Umgebungsmedium (20)	Silikonkautschuk	----	2,9
weitere leitfähige Schicht (16)	Kupfer	0,3 mm	----

- Fig. 2. zeigt den Schnitt durch ein Leistungshalbleitermodul nach dem Stand der Technik.
- 20 Dieses wird gebildet durch ein Substrat (10), auf dessen erster Hauptfläche (10a) eine erste metallische Schicht (12) angeordnet ist, die als Leiterbahn für die Schaltungsanordnung dient und in sich strukturiert ist. Auf dieser ersten metallischen Schicht (12) sind die Leistungshalbleiterbauelemente (24) angeordnet. Weiterhin weist das Substrat (10) auf seiner zweiten Hauptfläche (10b) eine zweite metallische Schicht (14) auf, die in sich nicht

strukturiert ist und eine thermisch wie elektrisch leitende Verbindung zum Kühlkörper (50) bildet.

Das Substrat (10) wird durch ein Gehäuse (40) aus isolierendem Kunststoff umschlossen. Dieses Gehäuse liegt ebenfalls, wie das Substrat (10) mit den Unterseiten seiner

5 Seitenwände auf dem Kühlkörper (50) auf.

Die Funktionsisolierung des Leistungshalbleitermoduls wird durch eine Verfüllung des Gehäuses (40) mittels eines Silikonkautschuks (20) erreicht. Dieser Silikonkautschuk benetzt hierzu das Substrat an den Stellen, an denen keine metallische Schicht vorhanden ist. Weiterhin benetzt der Silikonkautschuk die erste metallische Schicht (12) sowie die

10 Leistungshalbleiterbauelemente (24) zu deren Funktionsisolierung. Der Silikonkautschuk trägt auch zur Basisisolierung bei, da er das Substrat auch im nicht metallisierten Randbereich sowie im Zwischenraum (32) zwischen Substrat (10) und Gehäuse (40) benetzt und durch seine im Vergleich zu Luft höhere relative Dielektrizitätskonstante die Isolationsfestigkeit erhöht. Nachteilig ist hieran wie oben beschrieben, dass es im

15 Randbereich zur Rissen in der Keramik oder zu Lufteinschlüssen innerhalb des Silikonkautschuks, oder auch zu partiell nicht benetzten Volumina kommt. Die Risse verringern die Kriechstrecke zwischen der ersten und der zweiten metallischen Schicht und verringern dadurch die Isolationsfähigkeit. Die Lufteinschlüsse oder die nicht benetzten Volumina führen zu Glimmentladungen und reduzieren somit ebenfalls die

20 Isolationsfestigkeit.

Eine weitere Ausgestaltung eines Leistungshalbleitermoduls weist nach dem Stand der Technik eine Klebeverbindung (22) zwischen dem Substrat (10) und dem Gehäuse (40) auf. Nachteilig hierbei ist, dass innerhalb der Klebstoffes (22) ebenfalls Lufteinschlüsse vorhanden sind, die die Isolationsfestigkeit verringern. Einen weiteren Nachteil stellen nicht

25 vom Klebstoff (22) benetzte Bereiche (30), beispielhaft zwischen der ersten Hauptfläche (10a) des Substrates (10) und der ersten metallischen Schicht (12), dar. Dies reduzieren nach oben beschriebenen Mechanismen ebenfalls die Isolationsfestigkeit.

Fig. 3. zeigt verschiedene Ausgestaltungen eines erfinderischen Leistungshalbleitermoduls. Dieses wird analog zum oben (Fig. 2) beschriebenen Stand der Technik gebildet durch ein

30 Substrat (10), auf dessen erster Hauptfläche (10a) eine erste metallische Schicht (12) angeordnet ist, die als Leiterbahn für die Schaltungsanordnung dient und in sich strukturiert

ist. Auf dieser ersten metallischen Schicht (12) sind die Leistungshalbleiterbauelemente (24) angeordnet. Die zweite metallische Schicht (14) der zweiten Hauptfläche (10b) des Substrats (10) ist in sich nicht strukturiert und weist eine thermisch wie elektrisch leitende Verbindung zum Kühlkörper (50) auf. Das Substrat (10) wird durch ein Gehäuse (40) aus
 5 isolierendem Kunststoff umschlossen, welches auf dem Kühlkörper (50) angeordnet ist.

Die Funktionsisolierung des Leistungshalbleitermoduls wird durch eine Verfüllung des Gehäuses (40) mittels eines Silikonkautschuks (20) erreicht. Zur Basisisolierung weist das Leistungshalbleitermodul eine weitere leitfähige Schicht (16) auf, die auf der ersten Hauptfläche (10a) des Substrates (10) angeordnet ist. Diese weitere leitfähige Schicht (16)
 10 ist vorteilhafterweise mittels des gleichen Herstellungsverfahrens und auch gleichzeitig mit der ersten metallischen Schicht (12) hergestellt worden. Hierfür eignet sich besonders das oben beschriebene DCB- Verfahren oder auch das AMB- Verfahren. Diese weitere leitfähige Schicht ist umlaufend um den gesamten Rand des Substrates (10) angeordnet sowie elektrisch leitend mit der zweiten metallischen Schicht (14) auf der zweiten
 15 Hauptfläche (10b) des Substrates (10) verbunden. Somit liegt diese weitere leitfähige Schicht (16) auf dem Potential des Kühlkörpers (50). Für die Isolationsfestigkeit des Leistungshalbleitermoduls ist somit der Abstand (70) zwischen den auf hohem Potential liegenden Teilen der ersten metallischen Schicht (12) und der weiteren metallischen Schicht (16) maßgebend. Vorteilhafterweise ist dieser Bereich mit Silikonkautschuk (20) verfüllt, der
 20 auch die Funktionsisolierung des Leistungshalbleitermoduls bewirkt. Dieser weist gegenüber Luft eine höhere relative Dielektrizitätskonstante auf, wodurch der Abstand (70) entsprechend geringer dimensioniert sein kann als dies ohne Verfüllung möglich wäre. Der Abstand (70) ist derart zu wählen, dass die oben genannten Anforderungen an die Basisisolierung des Leistungshalbleitermoduls erfüllt werden.

25 Die weitere leitfähige Schicht (16) ist vorteilhafterweise in ihrem gesamten Verlauf um den Rand des Substrates (10) nicht unterbrochen. Allerdings kann die weitere leitfähige Schicht (16) kleine, abhängig von der speziellen Ausgestaltung des Leistungshalbleitermoduls, Unterbrechungen aufweisen ohne die Funktionalität zu beeinträchtigen. Vorzugsweise weist hierbei jeder Teilbereich der weiteren leitfähigen Schicht (16) eine elektrisch leitende
 30 Verbindung zur zweiten metallischen Schicht (14) auf.

Fig. 3a zeigt eine Ausgestaltung der elektrisch leitenden Verbindung zwischen der weiteren leitfähigen Schicht (16) und der zweiten metallischen Schicht (14). Hierzu weist das

Substrat (10) Löcher auf, in denen eine vorzugsweise metallische Durchkontaktierung (60) zwischen diesen beiden Schichten angeordnet ist.

Fig. 3b zeigt eine weitere Ausgestaltung der elektrischen Verbindung zwischen der weiteren leitfähigen Schicht (16) und der zweiten metallischen Schicht (14). Hierzu ist eine

- 5 Klebeverbindung (62) derart angeordnet, dass sie einerseits das Substrat (10) mit dem Gehäuse (40) verbindet und andererseits eine elektrisch leitende Verbindung zwischen dem Randbereich der weiteren leitfähigen (16) und der zweiten (14) metallischen Schicht bildet, wobei es für die Aufgabe hinreichend ist, wenn der spezifische Widerstand dieser elektrisch leitenden Klebeverbindung (62) kleiner als $10 \text{ k}\Omega\cdot\text{m}$ ist.

- 10 Fig. 3c zeigt eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindnerischen Leistungshalbleitermoduls, wobei die weitere leitfähige Schicht (16) durch die Verbindung zur zweiten metallischen Schicht (14) selbst gebildet ist. Hierzu ist das Gehäuse (40) mit einer elastischen Dichtlippe (64) versehen, wobei das Material dieser Dichtlippe einen spezifischen elektrischen Widerstand von weniger als $10 \text{ k}\Omega\cdot\text{m}$ aufweist. Der bündig auf der
- 15 ersten Hauptfläche (10a) des Substrates (10) angeordneten Teil der Dichtlippe (64) bildet hierbei die weitere leitfähige Schicht (16).

Fig. 4. zeigt eine weitere Ausgestaltungen eines erfindnerischen Leistungshalbleitermoduls nach Fig. 3a wobei zusätzlich zu der weiteren leitfähigen Schicht (16) im Bereich (70) zwischen dieser und der ersten metallischen Schicht (12) Feldringe (18) angeordnet sind.

- 20 Diese Feldringe (18) bestehen aus einer Mehrzahl leitfähiger Schichten die parallel zur weiteren leitfähigen Schicht (16) angeordnet sind. Vorteilhafterweise weisen diese Feldringe eine geringere Höhe als die Schichten (12, 14, 16) auf, da diese Feldringe im Vergleich zu den übrigen Schichten als feinere Struktur ausgebildet sind. Als bevorzugtes Herstellungsverfahren erweist sich für die Schichten und die Feldringe das AMB- Verfahren,
- 25 da hierbei dünne metallische Schichten abgeschieden werden können.

Die Feldringe bewirken eine Spreizung des Verlaufes der Äquipotentiallinien im Bereich (70) zwischen der ersten metallischen Schicht (12) und der weiteren leitfähigen Schicht (16) und verbessern hiermit bei geeigneter Anordnung die Teilentladungsfestigkeit weiter.

Ansprüche

1. Leistungshalbleitermodul mit Grundplatte (50) oder zur direkten Montage auf einem Kühlkörper (50) bestehend aus einem Gehäuse (40), mindestens einem Leistungshalbleiterbauelement (24) sowie mindestens einem beidseitig mit einer metallischen Schicht versehenen isolierenden Substrat (10), wobei das mindestens eine Leistungshalbleiterbauelement (24) auf der ersten metallischen Schicht (12) angeordnet ist, diese erste metallische Schicht (12) auf der ersten Hauptfläche (10a) des Substrates (10) und die zweite metallische Schicht (14) auf der zweiten Hauptfläche (10b) des Substrates (10) angeordnet sind und auf der ersten Hauptfläche (10a) des Substrates eine weitere leitfähige Schicht (16) umlaufend am Rand des Substrates angeordnet ist und diese mit der metallischen Schicht (14) auf der zweiten Hauptfläche (10b) des Substrates (10) elektrisch leitend verbunden ist.
2. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, wobei die weitere leitfähige Schicht (16) strukturell und herstellungstechnisch mit der ersten und zweiten metallischen Schicht (12, 14) identisch ist.
3. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, wobei wobei die erste metallische Schicht (12) in sich strukturiert ist um den schaltungsgerechten Aufbau des Leistungshalbleitermoduls zu erlauben.
4. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, wobei die elektrisch leitende Verbindung zwischen der weiteren leitfähige Schicht (16) und der zweiten metallischen Schicht (14) durch mindestens eine die beiden verbindende lokale Durchkontaktierung (60) ausgeführt ist.
5. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, wobei die elektrisch leitende Verbindung zwischen der weiteren leitfähigen Schicht (16) und der zweiten metallischen Schicht (14) durch einen elektrisch leitfähigen Klebstoff (62), der das Substrat (10) im Gehäuse (40) fixiert, ausgeführt ist.

6. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, wobei die elektrisch leitende Verbindung und die weitere leitfähige Schicht (16) einstückig als eine Dichtlippe (64) aus einem elastischen und elektrisch leitenden oder mit einer elektrisch leitenden Oberfläche versehenen Werkstoff ausgeführt ist.
- 5 7. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, wobei auf der ersten Hauptfläche (10a) des Substrates (10) zwischen der ersten metallischen Schicht (12) und der weiteren leitfähigen Schicht (16) zusätzliche im wesentlichen parallel zur weiteren leitfähigen Schicht (16) verlaufende leitfähigen Schichten (18) angeordnet sind und diese als Feldringe wirken.
- 10 8. Leistungshalbleitermodul nach Anspruch 1, wobei der spezifische Widerstand der elektrisch leitenden Verbindung zwischen der weiteren leitfähigen Schicht (16) und der zweiten metallischen Schicht (14) kleiner als $10 \text{ k}\Omega\cdot\text{m}$ ist.

the layers and the field rings, since it allows the separation of thin metallic layers.

The field rings cause the spreading out of the equipotential lines in the section (70) between the first metallic layer (12) and the additional conductive layer (16), thus further improving the partial discharge strength if arranged appropriately.

Claims

1. Power semiconductor module with a base plate (50) or to be directly mounted on a heat sink (50), consisting of a packaging (40), at least one power semiconductor component (24) and at least one insulating substrate (10) provided on both sides with a metallic layer, characterized in that the at least one power semiconductor component (24) is arranged on the first metallic layer (12), that said first metallic layer (12) is arranged on the first main surface (10a) of the substrate (10) and the second metallic layer (14) is arranged on the second main surface (10b) of the substrate (10), and that an additional conductive layer (16) is arranged around the edge of the substrate and is electroconductively connected with the metallic layer (14) on the second main surface (10b) of the substrate (10).
2. Power semiconductor module according to Claim 1, characterized in that the additional conductive layer (16) is structurally identical with the first and second metallic layers (12, 14) and is made according to the same manufacturing technique as those.
3. Power semiconductor module according to Claim 1, characterized in that the first metallic layer (12) is internally structured to allow the circuit-friendly design of the power semiconductor module.
4. Power semiconductor module according to Claim 1, characterized in that the electroconductive connection between the additional conductive layer (16) and the second metallic layer (14) is established by at least one local through-connection (60) connecting those two layers.
5. Power semiconductor module according to Claim 1, characterized in that the electroconductive connection between the additional conductive layer (16) and the second metallic layer (14) is established by an electroconductive adhesive (61) which fixes the substrate (10) in the packaging (40).

6. Power semiconductor module according to Claim 1, characterized in that the electroconductive connection and the additional conductive layer (16) is designed in one piece as a sealing gasket (64) made from an elastic and electroconductive material or from a material provided with an electroconductive surface.
7. Power semiconductor module according to Claim 1, characterized in that on the first main surface (10a) of the substrate (10) between the first metallic layer (12) and the additional conductive layer (16) further conductive layers (18) are arranged substantially parallel to the additional conductive layer (16), and that said further conductive layers (18) act as field rings.
8. Power semiconductor module according to Claim 1, characterized in that the specific resistance of the electroconductive connection between the additional conductive layer (16) and the second metallic layer (14) is less than $10 \text{ k}\Omega$.

SEMIKRON Elektronik GmbH

Sigmundstrasse 200,
D-90431 Nürnberg

P.O. Box 820 251
D-90253 Nürnberg

Power semiconductor module with improved insulation strength

Abstract

The invention relates to a power semiconductor module with a base plate (50) or to be directly mounted on a heat sink (50), consisting of a packaging (40), at least one power semiconductor component (24) and at least one substrate (10) provided on both sides with a metallic layer. The at least one power semiconductor component (24) is arranged on the first metallic layer (12). The second metallic layer (14) is arranged on the second main surface of the substrate (10). On the first main surface (10a) of the substrate an additional conductive layer (16) is arranged around the edge of the substrate and is electroconductively connected with the metallic layer (14) on the second main surface of the substrate (10).

(Fig. 1)

Description

The invention relates to power semiconductor modules as they are known, for example, from US 5.466.969. In comparison with discrete power switches (such as sliced cells, TO220) such power semiconductor modules with a base plate or to be directly mounted on a heat sink offer the great advantage of internal insulation. In prior art, this internal insulation against the base plate or the heat sink is accomplished by using ceramic substrates laminated on both sides, combining high insulation strength with good thermal conductivity. They allow the efficient configuration of power circuits since they provide not only base insulation and insulation against the environment, but also a functional insulation, insulation of various sections on a structured surface provided with components.

The definitions of the technical terms used are found in Chapter 1 of König, Rao: *“Teilentladungen in Betriebsmitteln der Energietechnik”* [Partial discharges in operating elements used in energy technology], VDE Verlag, 1993, ISBN 3-8007-1764-6.

Power semiconductor modules with ceramic substrates are known, for example, from US 5,466,969, EP 0 750 345 A2 and DE 197 00 963 A1. Pressure-contacted assemblies with ceramic substrates are known, for example, from DE 196 51 632 A1. It is also known from US 5,466,969 that additional components such as sensors and/or control circuits can be integrated into the power module.

These embodiments of power semiconductor modules according to prior art all have in common that they use a ceramic substrate laminated with metal on both sides, produced for example by a spinel bond between aluminum oxide (Al_2O_3) and copper oxide according to the direct copper bonding (DCB) method, for example according to EP 0 627 760 A1, or by the active metal brazing (AMB) method. In principle, aluminum or silver are also feasible as metallic layers instead of copper. In conjunction with aluminum nitride (AlN) as a ceramic material, methods are being developed in which an aluminum layer is applied to the ceramic material by means of a sintering process. A further metallic layer such as copper can also be applied subsequently over this aluminum layer. Also known are organic epoxide substrates with metallic layers applied by means of various methods.

Also typical for such power semiconductor modules is a filling with a material such as a monomer of silicon rubber that is polymerized after degasification. This silicon rubber mainly establishes functional isolation. However, it is also applied in the marginal section of the substrate because this is easier to accomplish, and because the relative dielectric constant of silicon rubber is higher than that of air, which means that the marginal section for establishing base insulation can be narrower.

Generally, requirements for the insulation strength of base insulation are distinctly higher than for that of functional insulation. Thus, IEC 1287 requires the following test voltage for base insulation:

[insert formula on page 2]

where U_m represents the maximum constantly recurring voltage in the circuit. Voltage $U_{\text{iso,rms}}$ must be applied for one minute when the component is tested. The insulation capacity of the base insulation depends on how the marginal section of the substrate is configured.

In prior art power semiconductor modules, the two metallic layers on the ceramic surfaces act like a plate condenser with the ceramic as a dielectric between these plates. Typically, the second metallic layer lies on a base plate or a heat sink and thus usually on ground potential. In power semiconductor modules, this first metallic layer, on which the power semiconductor

components are also arranged, lies at least partially on a potential of up to several kilovolt. The metallic layers on both sides of the substrate are not applied right up to the edge to allow this non-metallized marginal section to serve as the air or leakage path of the base insulation of the power semiconductor module.

In the manufacture of the power semiconductor module, for example in the separation of the substrates, specifically ceramic substrates, from a larger entity, cracks or openings can occur in the marginal section, starting from the edge. These defects of the substrate shorten the path around the ceramic edge between the two metallic layers, and this also reduces the insulation strength of the entire power semiconductor module in an undefined manner.

The same problem of reduced insulation strength also results from air blisters in the filler (usually silicon rubber), for example in the section between the substrate and the packaging. In case of an adhesive bond between the substrate and the packaging, sections with a lower relative dielectric constant also occur because air bubbles are common in the adhesive. This always partial reduction of the relative dielectric constant, usually in the form of air bubbles, reduces the partial discharge strength because a glow discharge can occur.

The object of the invention is to prevent the effect of defects in the marginal section of the substrate and the effect of designing the arrangement of the substrate in the packaging of the power semiconductor module on the insulation strength of the base insulation and on the partial discharge characteristics.

This object is achieved by means of the characteristics of Claim 1. Preferred embodiments are described in the Subclaims.

The power semiconductor module according to the invention is provided with a base plate or is designed such that it is mounted with the substrate directly on a heat sink. Both embodiments have at least one substrate surrounded by a packaging. The substrate itself consists of an insulating material such as ceramic or plastic and is at least partially covered on both sides by a metallic layer. Preferably the metallic layer on the first main surface is circuit-friendly so that a certain function of the power semiconductor module, such as that of a half-bridge, can be realized. For this purpose, at least one power semiconductor component is located on this first metallic layer. On the second main surface of the substrate is also a metallic layer which as a rule is holohedral to the edge or almost to the edge.

At or close to the edge of the first main surface of the substrate of the power semiconductor module according to the invention another conductive,

preferably metallic layer or an equivalent section aligned with the substrate surface is provided. Hereinafter, the terms layer and section are used synonymously. This layer has a specific resistance of less than $10 \text{ k}\Omega$. It runs around the entire edge of the substrate, and in relation to the first metallic layer of the first main surface, laterally in direction of the surface, it is provided with a clearance such that the base insulation of the power semiconductor module is formed by said clearance. The filling of the space between the first and additional conductive layer with an insulating material such as silicon rubber must be taken into account. This additional conductive layer of the first main surface of the substrate is electroconductively connected with the second metallic layer of the second main surface, whereby this connection is holohedral or only partial, and therefore this additional metallic layer lies on the potential of the base plate or heat sink.

Thus, the base insulation is not accomplished - as in prior art - between the first metallic layer and the second metallic layer with a defined edge configuration. In the power semiconductor module according to the invention, the base insulation is accomplished between the first metallic layer and the additional conductive layer.

- Fig. 1 shows a three-dimensional view of a corner of a substrate of a power semiconductor module according to the invention;
- Fig. 2 shows a sectional view of a semiconductor module according to the invention;
- Fig. 3 shows several embodiments of a power semiconductor module according to the invention.
- Fig. 4 shows another embodiment of a power semiconductor module according to the invention.

Fig. 1, in a three-dimensional view of a corner section of a substrate of a power semiconductor module according to the invention. The substrate consists of a ceramic layer (10) on whose first main surface (10a) a first metallic layer (12) is arranged and on whose second main surface (10b) a second metallic layer (14) is arranged. The first metallic layer (12) serves as carrier for the power circuit and thus of the power semiconductor components (24) and has its own internal structure. The second metallic layer (14) is in thermal and electroconductive contact with a base plate or directly with heat sink and is without internal structure.

The marginal section of the ceramic (10) of the power semiconductor module according to the invention is provided with an additional conductive layer (16)

on the first main surface (10a) and conductively connected via a through-connection (60) with the second metallic layer (14) on the second main surface (10b) of the substrate (10). This additional conductive layer (16) is provided with a clearance (70) of 4 mm from the internally structured first metallic layer (12), which ensures the base insulation of the power semiconductor module after the filling with silicon rubber (20).

The following are some typical parameters for the above named components of the power semiconductor module:

Layer	Material	Thickness	Relative dielectric constant ϵ / ϵ_v
First metallic layer (12) of the first surface (4)	Copper	0.3 mm —	
Substrate (10)	Aluminum nitrite	1.0 mm	9.0
Second metallic layer (14)	Copper	0.3 mm —	
Ambient medium (20)	Silicon rubber	—	2.9
Additional metallic layer (16)	Copper	0.3 mm —	

Fig. 2 shows a sectional view of a power semiconductor module according to prior art. It is formed by a substrate (10) on whose first main surface (10a) a first metallic layer (12) is arranged which is internally structured and serves as the conductive strip for the circuit arrangement. The power semiconductor components are arranged on this first metallic layer (12). Furthermore, a second metallic layer (14) is provided on the second main surface (10b) of the substrate (10). This second layer is not internally structured and forms a thermoconductive and electroconductive connection with the heat sink (50).

The substrate (10) is surrounded by a packaging (40) of insulating plastic. The same as the substrate (10), this packaging also bears directly on the heat sink (50) with the undersides of its side walls.

The functional insulation of the power semiconductor module is accomplished by filling the packaging (40) with silicon rubber (20). For this purpose, the silicon rubber perfuses the substrate in places where no metallic layer is present. The silicone rubber also perfuses the first metallic layer (12) and the power semiconductor components (24) to accomplish their functional insulation. The silicone rubber also contributes to the base insulation, since it perfuses the substrate in the non-metallized marginal section and in the interspace (32) between the substrate (10) and the packaging (40) and increases

the insulation strength due to the fact that its relative dielectric constant is higher than that of air. As described above, a disadvantage is that in the marginal section, cracks occur in the ceramic or air bubbles can form within the silicon rubber, and some of the volume may be only partially perfused or not at all. The cracks reduce the leakage path between the first and second metallic layer, thus decreasing the insulation strength. The air bubbles or the non-perfused volume lead to glow discharge and thus reduce the insulation strength as well.

Another embodiment of a prior-art power semiconductor module has an adhesive bond (22) between the substrate (10) and the packaging (40). It is a disadvantage that air bubbles are present inside the adhesive (22) as well, reducing the insulation strength. Another disadvantage is that sections (30) are not perfused by the adhesive, for example between the first main surface (10a) of the substrate (10) and the first metallic layer (12). Due to the mechanisms described above, this also decreases the insulation strength.

Fig. 3 shows various embodiments of a power semiconductor module according to the invention. Similar to the above described prior art (Fig. 2), it is formed by a substrate (10) on whose first main surface (10a) a first metallic layer (12) is arranged which is internally structured and serves as conductive strip for the circuit arrangement. The power semiconductor components (24) are arranged on this first metallic layer (12). The second metallic layer (14) of the second main surface (10b) of the substrate (10) is not internally structured and is provided with a thermoconductive and electroconductive connection with the heat sink (50). The substrate (10) is surrounded by a packaging (40) of insulating plastic arranged on the heat sink (50).

The functional insulation of the power semiconductor module is accomplished by filling the packaging (40) with silicon rubber (20). For the base insulation, the power semiconductor module is provided with an additional conductive layer (16) arranged on the first main surface (10a) of the substrate (10). Advantageously, this additional conductive layer (16) is made produced by the same manufacturing process and simultaneously with the first metallic layer (12). The DCB method or the AMB method (described above) are particularly suited for that purpose. This additional conductive layer is arranged around the entire edge of the substrate (10) and electroconductively connected with the second metallic layer (14) on the second main surface (10b) of the substrate (10). Thus, this additional conductive layer (16) lies on the potential of the heat sink (50). The insulation strength of the power semiconductor module therefore depends on the clearance (70) between those parts of the metallic layer (12) that lie on high potential and the additional metallic layer (16). Advantageously, this section is filled with silicon rubber (20) which also provides the functional insulation of the power semiconductor module. The

latter has a higher relative dielectric constant than air, which means that the clearance (70) can have smaller dimensions than would be possible without filling. The clearance (70) must be chosen such that the above named base insulation requirements of the power semiconductor module are met.

Advantageously, the additional conductive layer (16) is uninterrupted along its entire length around the edge of the substrate (10). However, the additional conductive layer (16) may have small interruptions - depending on the specific design of the power semiconductor module - without adversely affecting the functionality. Yet preferably each partial section of the additional conductive layer (16) is provided with an electroconductive connection with the second metallic layer (14).

Fig. 3a shows an embodiment of the electroconductive connection between the additional conductive layer (16) and the second metallic layer (14). For this purpose, the substrate (10) is provided with holes in which a preferably metallic through-connection (60) is arranged between these two layers.

Fig. 3b shows an embodiment of the electrical connection between the additional conductive layer (16) and the second metallic layer (14). For this purpose, an adhesive bond (62) is arranged such that it connects the substrate (10) with the packaging (40) on one side and forms an electroconductive connection between the marginal section of the additional conductive layer (16) and the second metallic layer (14), whereby the objective can already be achieved when the specific resistance of this electroconductive adhesive bond (62) is less than $10 \text{ k}\Omega$.

Fig. 3c shows an advantageous embodiment of the power semiconductor module according to the invention, whereby the additional conductive layer (16) is formed by the connection with the second metallic layer (14) itself. For this purpose, the packaging (40) is provided with an elastic sealing gasket (64) whose material has a specific resistance of less than $10 \text{ k}\Omega$. In this case, the additional conductive layer (16) is formed by that part of the sealing gasket (64) which is arranged flush on the first main surface (10a) of the substrate (10).

Fig. 4 shows another embodiment of the power semiconductor module according to Fig. 3a, whereby in addition to the additional conductive layer (16) in the section (70) field rings (18) are arranged between this and the first metallic layer (12). These field rings (18) consist of a plurality of conductive layers arranged parallel to the additional conductive layer (16). Advantageously, these field rings are not as high as the layers (12, 14, 16), since these field rings must have a finer structure than the other layers. The AMB method has proven to be the preferred manufacturing method for making

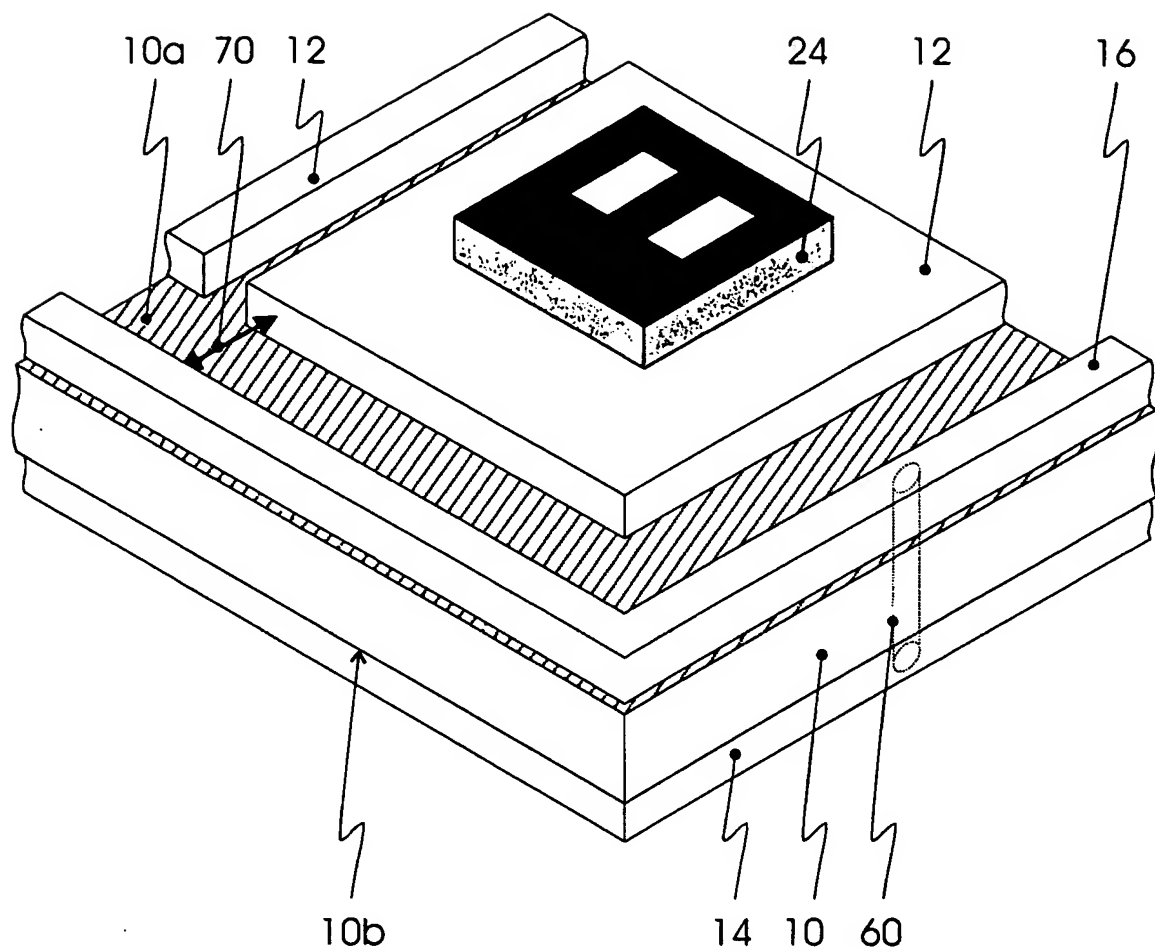


Fig. 1

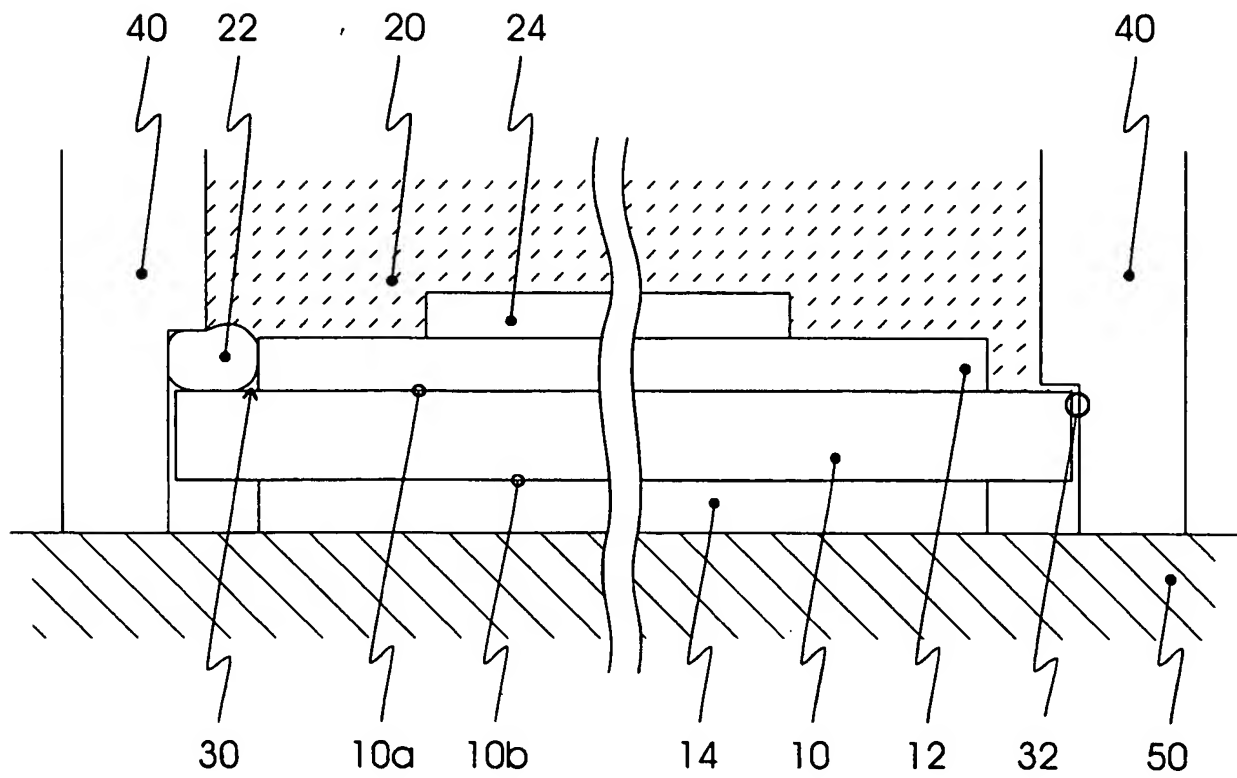


Fig. 2 (Stand der Technik)

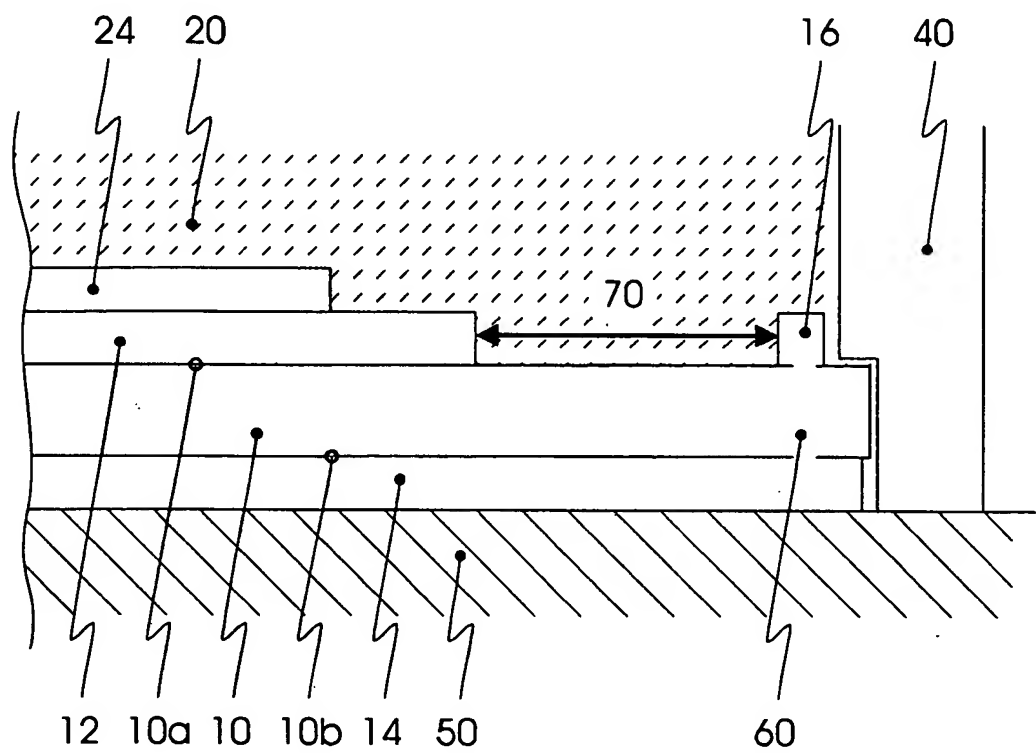


Fig. 3a

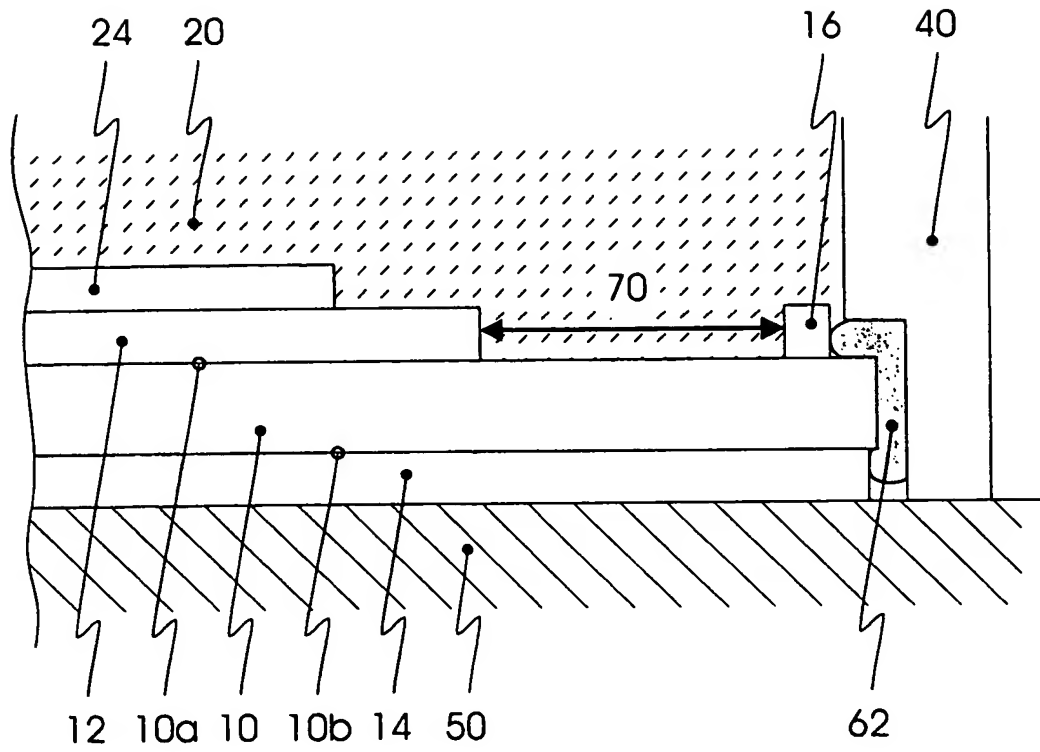


Fig. 3b

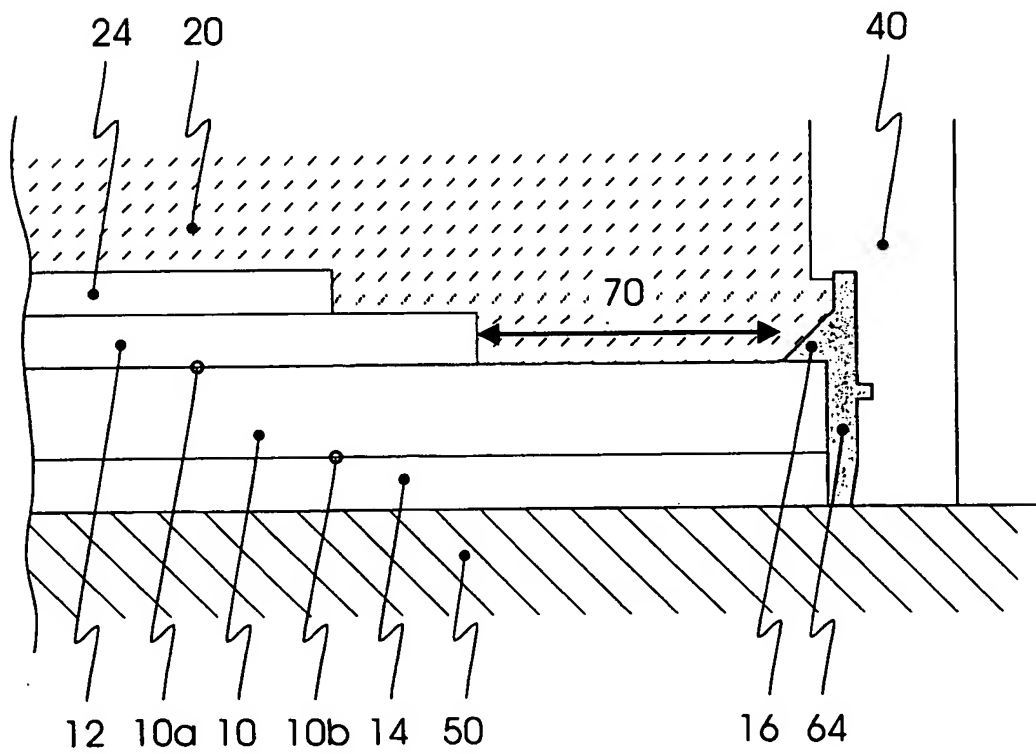


Fig. 3a

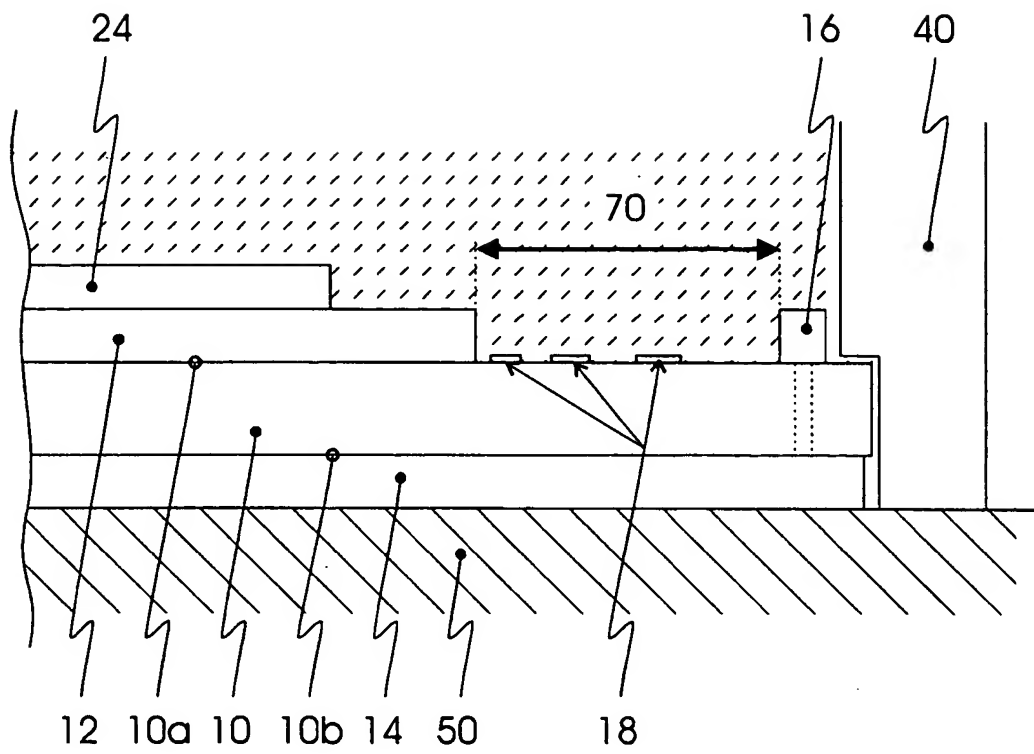


Fig. 4

Zusammenfassung

Es wird ein Leistungshalbleitermodul mit Grundplatte (50) oder zur direkten Montage auf einem Kühlkörper (50) bestehend aus einem Gehäuse (40), mindestens einem Leistungshalbleiterbauelement (24) sowie mindestens einem beidseitig mit einer

5 metallischen Schicht versehenen Substrat (10) vorgestellt. Das mindestens eine Leistungshalbleiterbauelement (24) ist hierbei auf der ersten metallischen Schicht (12) angeordnet. Diese zweite metallische Schicht (14) ist auf der zweiten Hauptfläche des Substrates (10) angeordnet sind. Auf der ersten Hauptfläche (10a) des Substrates ist eine weitere leitfähige Schicht (16) umlaufend am Rand des Substrates angeordnet und diese ist

10 mit der metallischen Schicht (14) auf der zweiten Hauptfläche des Substrates (10) elektrisch leitend verbunden.

(Fig. 1))

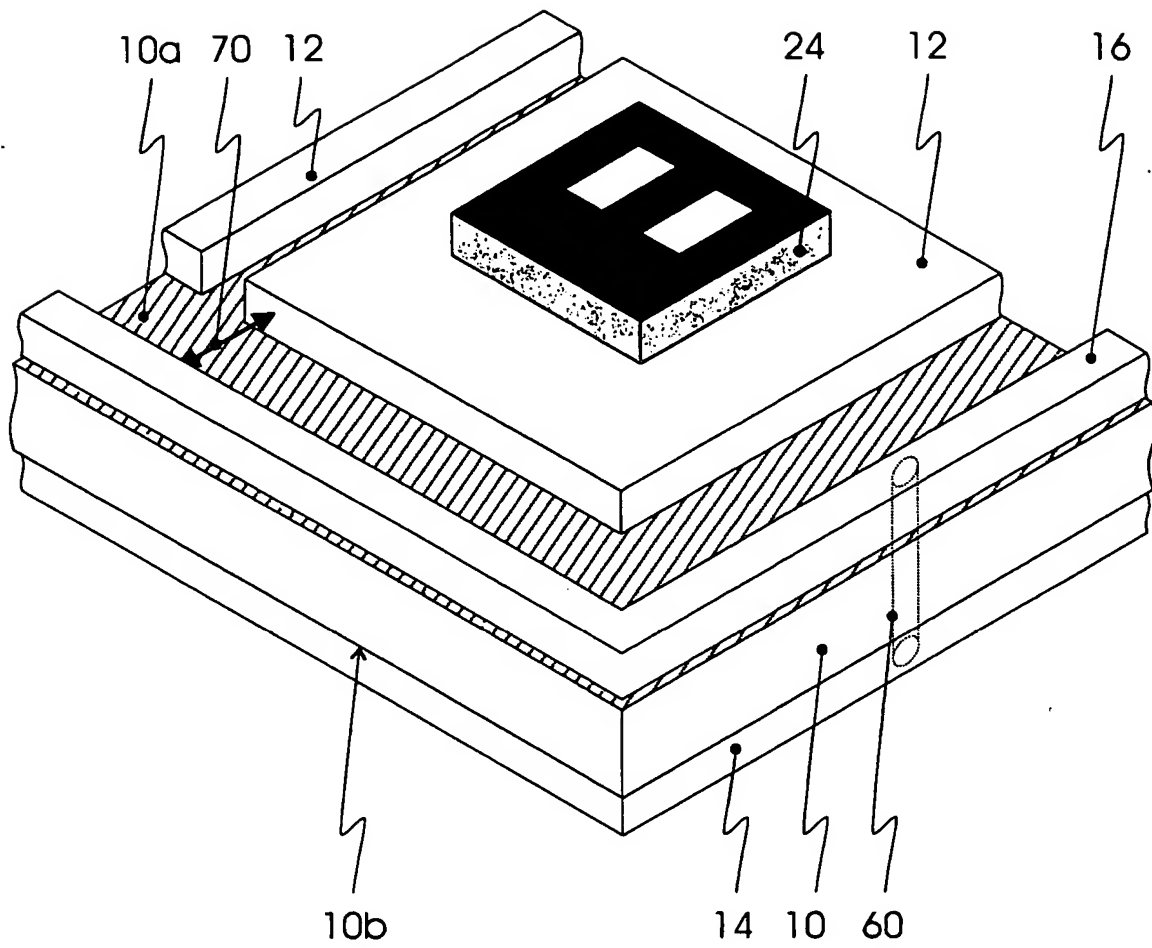


Fig. 1